

# Pemanfaatan Teknologi *Carbon Capture Storage* (CCS) dalam Upaya Mendukung Produksi Energi yang Berkelanjutan

Ahmad Wisnu Prasetyo, Jaka Windarta

Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

Email : [ahmadwisnuprasetyo@students.undip.ac.id](mailto:ahmadwisnuprasetyo@students.undip.ac.id) (A.W.P), [jakawindarta@lecturer.undip.ac.id](mailto:jakawindarta@lecturer.undip.ac.id) (J.W);

**Abstrak** : Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia dengan jumlah penduduk lebih dari 250 juta orang. Sebagai negara dengan populasi terbesar keempat di dunia, Indonesia juga berada di peringkat keempat sebagai penghasil Gas Rumah Kaca (GRK) terbesar pada tahun 2015. Sumber emisi GRK di sektor industri berasal dari penggunaan energi khususnya energi fosil, proses produksi, dan limbah. Semua sektor industri memberikan kontribusi emisi GRK, tetapi kontributor terbesar adalah industri semen, industri baja, industri pulp dan industri kertas, industri tekstil, industri petrokimia, industri keramik, industri pupuk, industri makanan dan minuman. Berdasarkan Peraturan Presiden No. 61 tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) target penurunan emisi dari sektor industri adalah sebesar 0,001 Gton CO<sub>2</sub>(e) (skenario 26 %) dan sebesar 0,005 Gton CO<sub>2</sub>(e) (skenario 41%) pada tahun 2020. Peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer mengalami peningkatan yang cukup signifikan dalam beberapa tahun terakhir dan berdampak pada perubahan iklim. Teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS) merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan dalam upaya mengurangi emisi gas buang CO<sub>2</sub> yang dianggap mampu sebagai teknologi penghubung yang penting untuk produksi energi yang berkelanjutan.

**Kata Kunci** : Emisi CO<sub>2</sub>, *Carbon Capture and Storage*

**Abstract** : Indonesia is the largest archipelagic country in the world with a population of more than 250 million people. As the country with the fourth largest population in the world, Indonesia is also ranked fourth as the largest producer of Greenhouse Gases (GHG) in 2015. Sources of GHG emissions in the industrial sector come from energy use, especially fossil energy, production processes, and waste. All industrial sectors contribute to GHG emissions, but the largest contributors are the cement industry, steel industry, pulp and paper industry, textile industry, petrochemical industry, ceramics industry, fertilizer industry, food and beverage industry. Based on Presidential Regulation No. 61 of 2011 concerning the National Action Plan for Reducing Greenhouse Gas Emissions (RAN-GRK), emission reduction target from the industrial sector is 0.001 Gton CO<sub>2</sub>(e) (26% scenario) and 0.005 Gton CO<sub>2</sub>(e) (41% scenario) in 2011 in 2020. The increase in the concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere

*Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 2022, Vol. 3, No. 3, pp 231 – 238

*Received* : 22 Agustus 2022

*Accepted* : 15 September 2022

*Published* : 31 Oktober 2022



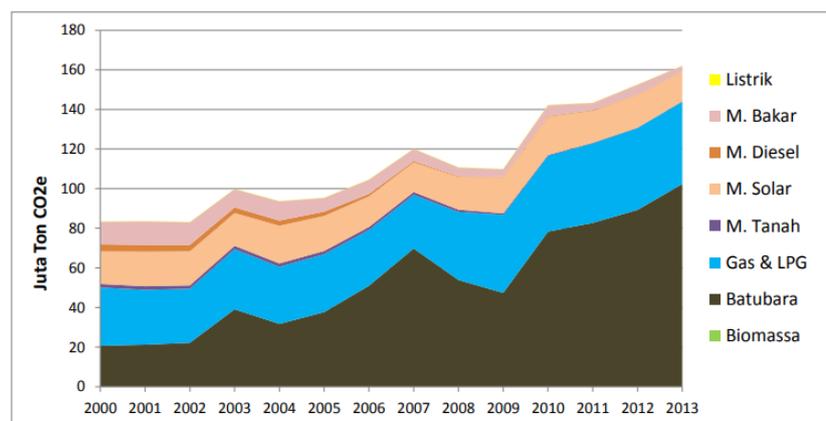
**Copyright**: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

has increased significantly in recent years and has an impact on climate change. Carbon Capture and Storage (CCS) technology is one of the technologies that can be used to reduce CO<sub>2</sub> emissions which considered capable of being an important link technology for sustainable energy production.

**Keywords :** CO<sub>2</sub> Emissions, Carbon Capture and Storage

## 1. Pendahuluan

Indonesia memiliki sumber daya bahan bakar fosil yang melimpah di dunia dan masih menjadi sumber energi utama pada beberapa tahun yang mendatang. Bahan bakar fosil melepaskan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan gas lain yang dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di atmosfer, sehingga memicu isu pemanasan global. Perubahan iklim terjadi akibat adanya pembakaran bahan bakar fosil, sehingga menjadi penyebab utama pelepasan CO<sub>2</sub> di udara (Muhd Nor dkk., 2016). Emisi GRK di sektor industri meningkat dari 83 juta ton CO<sub>2</sub>(e) pada tahun 2013 menjadi 162 juta ton CO<sub>2</sub>(e) pada tahun 2035. Dalam 22 tahun terjadi peningkatan emisi GRK di sektor industri rata-rata sebesar 5,2 per tahun. Emisi terbesar pada tahun 2013 berasal dari batubara dengan pangsa mencapai 62%, diikuti oleh gas dan LPG (26%) dan minyak solar (9%). Dari sisi pertumbuhan, emisi dari penggunaan batubara meningkat sangat pesat rata-rata sekitar 13% per tahun untuk kurun waktu 2000-2013. Hal ini disebabkan harga batubara yang relatif lebih murah dibandingkan dengan energi lain, sehingga banyak industri yang beralih menggunakan teknologi berbasis batubara.



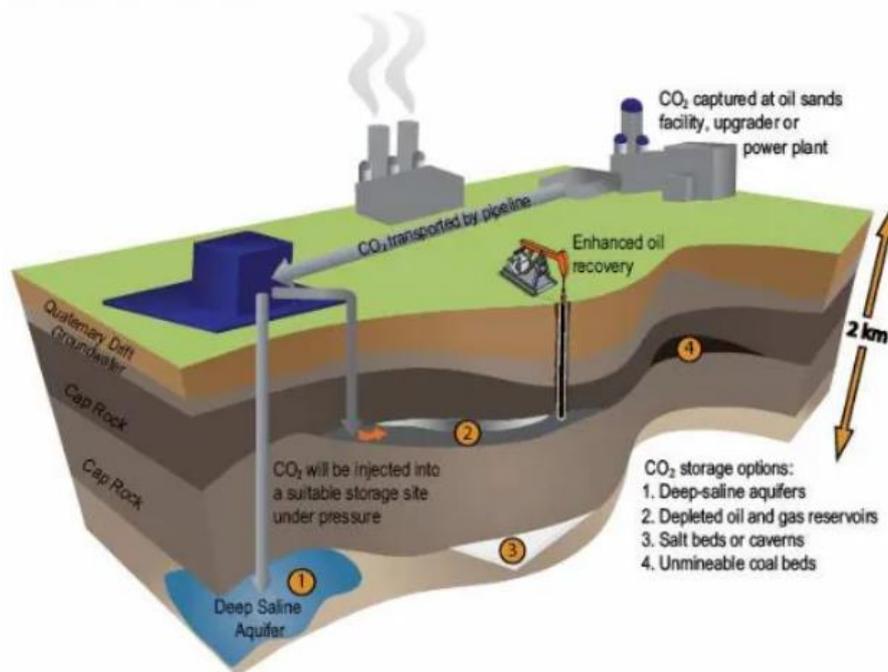
**Gambar 1.** Emisi GRK Sektor Industri

Meningkatnya emisi karbon yang berasal dari bahan bakar fosil menyebabkan pemerintah Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dari konsumsi bahan bakar fosil sebagai upaya mitigasi perubahan iklim. Dewan Energi Nasional (2014) memberikan dua kemungkinan skenario energi yang diharapkan dapat membantu merealisasikan komitmen yang dibentuk, yaitu skenario “*business as usual*” dan Kebijakan Energi Nasional. Skenario Kebijakan Energi Nasional ini, berdasarkan hasil kesepakatan Indonesia dalam Paris Agreement tahun 2016, dimana pengurangan emisi CO<sub>2</sub> hingga 26% melalui peningkatan bauran energi, pengurangan ketergantungan bahan bakar berbasis karbon, dan penyebaran sumber energi terbarukan dari tahun 2020 hingga 2050 (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019). Namun, hal tersebut tidak mencukupi untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> lebih lanjut, sehingga pemerintah menerapkan teknologi

*Carbon Capture and Storage (CCS)* (Adisaputro & Saputra, 2017). Pengaplikasian mengenai CCS di Indonesia belum ada, namun dari beberapa penelitian sudah melakukan pengumpulan data – data yang dimana bertujuan untuk melihat peluang, tantangan, efek terhadap lingkungan serta pengaruh CCS terhadap proses produksi energi berkelanjutan di sektor industri Indonesia. Teknologi CCS bertujuan untuk menangkap sebanyak 85% emisi CO<sub>2</sub> dari pembangkit listrik dan industri lain sebelum di *transport* melalui pipa atau kapal dan disimpan sedalam 700 meter di bawah permukaan bumi (Commission, n.d.).

## 2. Teknologi *Carbon Capture Storage (CCS)*

*Carbon capture storage* yang mana sering disebut sebagai *carbon capture and sequestration*, mencegah CO<sub>2</sub> dalam jumlah banyak terlepas ke dalam atmosfer. Teknologi ini mencakup penangkapan CO<sub>2</sub> yang diproduksi oleh pabrik industri yang besar, mengkompresinya untuk transportasi dan kemudian memasukkannya ke dalam formasi batuan yang sangat dalam dengan hati-hati, dimana itu adalah penyimpanan permanen (Global CCS Institute, 2011).



**Gambar 2.** Ilustrasi CCS

Pertama, CO<sub>2</sub> akan dihilangkan atau dipisahkan, dari pabrik batubara dan pembangkit listrik, dan dari pembuatan baja dan semen. Ada tiga jenis cara *capture* yaitu *pre-combustion*, *post combustion* dan *oxyfuel combustion*.

### 1) *Pre-Combustion*

Sistem *Pre-combustion* adalah proses penangkapan CO<sub>2</sub> dari bahan bakar fosil yang terjadi sebelum proses pembakaran. Sistem *Pre-combustion* ini memproses bahan bakar utama dengan uap dan udara ataupun dengan oksigen dalam reaktor untuk menghasilkan campuran yang terdiri dari karbon monoksida (CO) dan H<sub>2</sub> (gas sintesis) sebagai komponen utamanya (IEA, 2013, IPCC, 2005).

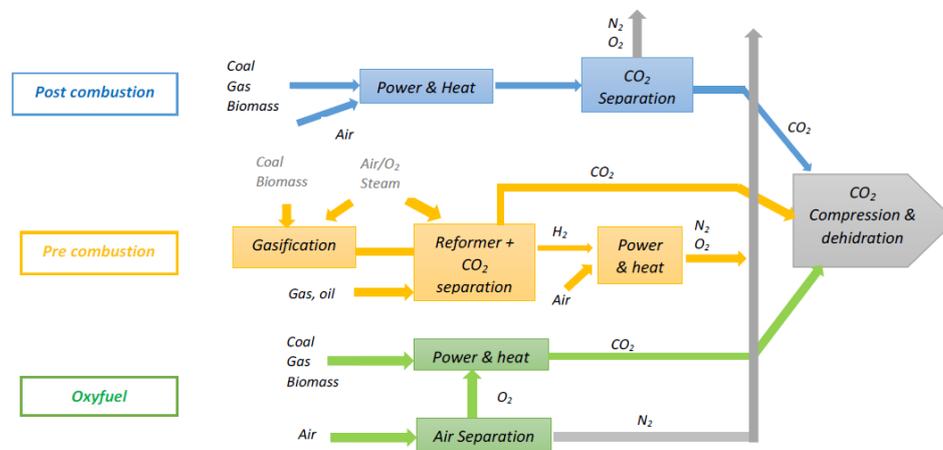
## 2) *Post Combustion*

Sistem *Post-combustion* adalah memisahkan CO<sub>2</sub> dari gas buang yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar utama di udara. Sistem ini biasanya menggunakan pelarut cair untuk menangkap sebagian kecil dari CO<sub>2</sub> (biasanya 3% – 15% volume) yang ada dalam aliran gas buang di mana konstituen utamanya adalah nitrogen (dari udara) (IEA, 2013, IPCC, 2005).

## 3) *Oxyfuel Combustion*

Pada sistem ini menggunakan oksigen murni untuk menghasilkan gas buang yang berupa uap air dan CO<sub>2</sub> dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi daripada uap airnya (lebih dari 80% volume). Dalam sistem ini uap air hasil dari gas buang, kemudian dihilangkan dengan cara mendinginkan dan mengompresi aliran gas. *Oxyfuel combustion* memerlukan pemisahan oksigen dari udara dengan kemurnian 95-99% sedangkan untuk menghilangkan polutan udara dan gas non-terkondensasi (seperti nitrogen) dari gas buang CO<sub>2</sub>, diperlukan penanganan lebih lanjut sebelum dikirim ke penyimpanan. Secara teori, teknologi ini lebih sederhana dan lebih murah daripada proses absorpsi, namun salah satu kelemahannya adalah untuk dapat menghasilkan aliran oksigen murni dibutuhkan biaya yang lebih tinggi.

Cara ini dinamakan CO<sub>2</sub> Capture dan dapat menangkap sekitar 90% dari emisi CO<sub>2</sub>. Kemudian CO<sub>2</sub> dikompresi dan diangkut ke sebuah lapangan penyimpanan yang sesuai. Transportasi umumnya dilakukan di pipa. Transportasi kapal juga merupakan pilihan untuk transportasi CO<sub>2</sub> lepas pantai. CO<sub>2</sub> yang disuntikkan ke dalam lapangan penyimpanan yang sesuai jauh di bawah tanah. Lapangan penyimpanan harus memenuhi formasi geologi yang menjamin penyimpanan yang aman dan permanen. Penyimpanan dapat mengambil tempat di bekas ladang minyak & gas (*depleted*) atau formasi garam dalam (*deep saline*).

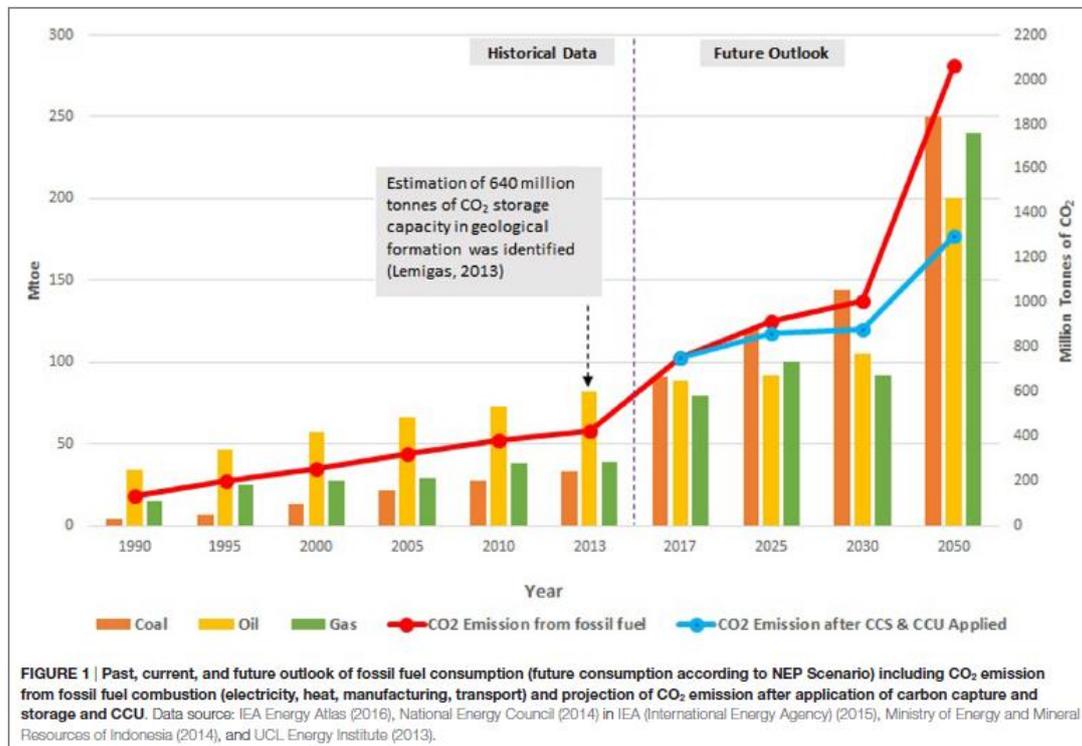


Gambar 3. Alur Skematik Sederhana

CO<sub>2</sub> akan diangkut terutama di pipa dalam bentuk cair. Hal ini membuat transportasi yang lebih efisien dan membutuhkan pipa yang lebih kecil daripada jika diangkut sebagai gas. Di Inggris, CO<sub>2</sub> akan diangkut melalui jaringan pipa yang dibangun (baik *on* dan *offshore*) atau bekas jaringan pipa gas alam, untuk penyimpanan yang aman jauh di bawah dasar laut. Setelah melewati proses penangkapan CO<sub>2</sub>, kemudian CO<sub>2</sub> dapat disimpan dalam reservoir geologi yang sesuai, seperti saline aquifers, reservoir gas dan minyak bumi, dan lapisan batubara yang tidak dapat diakses (Global CCS Institute, 2011).

### 3. Pemanfaatan CCS di Indonesia

Gambar 4 menunjukkan tren konsumsi bahan bakar fosil dan kaitannya dengan emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia. Konsumsi bahan bakar fosil mengalami peningkatan dari 53,4 MTOE pada tahun 1990 menjadi 154,93 MTOE pada tahun 2013, ketika pangsa minyak sekitar 50–60%. Skenario NEP akan berkurang pangsa minyak menjadi 25% – 30%, tetapi konsumsi bahan bakar fosil secara keseluruhan seharusnya meningkat menjadi 690 MTOE pada tahun 2050. Peningkatan konsumsi bahan bakar fosil ini akan disertai dengan timbulnya emisi CO<sub>2</sub>. Pada tahun 1990, emisi CO<sub>2</sub> adalah 133,9 MTOE, yang meningkat menjadi 133,9 MTOE pada tahun 2013. Pada tahun 2030 dan 2050 diperkirakan masing masing akan mencapai 1000,6 MTOE dan 2065,98 MTOE.



**Gambar 4.** Konsumsi Bahan Bakar Fosil sesuai Skenario NEP (IEA Energy Atlas, 2016)

Meskipun skenario NEP bertujuan untuk meningkatkan pangsa sumber energi terbarukan, itu tidak akan cukup untuk mencapai pengurangan emisi CO<sub>2</sub> secara keseluruhan sebesar 26% pada tahun 2020. Hasilnya, CCS harus diterapkan sebagai alat untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> secara signifikan, khususnya emisi CO<sub>2</sub> dari minyak dan gas, listrik, dan sektor industri.

Pada Gambar diatas menunjukkan prediksi bagaimana emisi CO<sub>2</sub> dapat berubah jika CCS diterapkan di masa depan. Prediksi emisi CO<sub>2</sub> akan berubah secara signifikan dengan peningkatan pengurangan emisi dari 6% pada tahun 2025 menjadi 37% pada tahun 2050 jika aplikasi CCS telah diterapkan. Estimasi ini didasarkan pada asumsi teknologi penangkapan karbon yang akan diterapkan pada sumber titik-titik CO<sub>2</sub> (fasilitas industri, listrik pabrik, dan manufaktur) dan mempertimbangkan kapasitas CCS dan efisiensi (UCL Energy Institute, 2013) termasuk potensi penerapan CCS di Indonesia.

Penerapan CCS tidak hanya mengurangi emisi CO<sub>2</sub> tetapi juga berpotensi untuk memisahkan pertumbuhan ekonomi dari CO<sub>2</sub>. Namun, pengembangan mengenai CCS belum berkembang dengan baik. Menurut penelitian Best, dkk. (2011) yang bekerja sama dengan LEMIGAS, melakukan

penelitian mengenai status perkembangan CCS di Indonesia. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa peraturan dan aspek hukum mengenai pengoperasian dan pengelolaan proyek CCS dalam jangka panjang harus dipertimbangkan oleh Pemerintah Indonesia. Pemanfaatan teknologi CCS di Indonesia, hanya berfokus untuk meningkatkan produksi di sumur – sumur tua minyak dan gas yang tersebar di beberapa lokasi di Indonesia. Sehingga, potensi penyebaran CCS di Indonesia terbukti ada, khususnya dalam hal penyimpanan CO<sub>2</sub> yang berkaitan dengan *enhanced oil recovery*. Namun, untuk mewujudkan potensi ini, dibutuhkan dana yang besar dan membuat regulasi dari pemerintah untuk CCS .

#### 4. Tantangan dalam Penerapan CCS di Indonesia

Hambatan utama untuk CCS di Indonesia seperti di negara lain adalah kurangnya peraturan untuk operasi CCS yang akan diperlukan untuk memberikan kepercayaan kepada investor dan pengembang proyek di Indonesia serta memberikan kepercayaan publik terhadap keselamatan dan keamanan operasi. Saat ini, Indonesia tidak memiliki kerangka hukum dan peraturan untuk memungkinkan penerapan CCS. Namun, peraturan yang ada seperti satu peraturan lingkungan yang sedang ditinjau yang dapat diadaptasi dan disesuaikan dengan CCS yang berfokus pada pemanfaatan bawah permukaan untuk penyimpanan limbah. Peraturan Kementerian Nomor 13 tahun 2007, mengatur persyaratan dan tata cara pengolahan air limbah pada hulu migas dan kegiatan panas bumi menggunakan metode injeksi ke bawah permukaan, saat ini dianggap di Indonesia sebagai peraturan yang paling cocok untuk CCS terutama pada aspek penyimpanan. Peraturan ini dapat memberikan garis dasar awal untuk pengembangan kerangka hukum dan peraturan CCS di Indonesia.

Selain itu, tingkat kesadaran masyarakat mengenai CCS di Indonesia masih rendah dalam beberapa tahun terakhir, meskipun beberapa praktisi telah mengembangkan pemahaman yang baik mengenai CCS, sehingga diperlukan adanya sosialisasi tentang CCS secara umum, keselamatan dan keamanan operasi terhadap publik. Namun, ketertarikan penelitian CCS di Indonesia sudah mulai meningkat dan regulasi pun sudah dikeluarkan mengenai rencana R&D jangka pendek pada CCS yang tidak hanya berfokus pada aspek teknis tetapi aspek non teknis seperti pengembangan regulasi (Zaemi, dkk.,S 2021)

#### 5. Potensi dan Produksi Energi Berkelanjutan

Teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon atau *Carbon Capture and Storage* (CCS) adalah satu satunya teknologi yang mampu memitigasi lepasnya emisi gas rumah kaca (GRK) dari aktivitas pemanfaatan bahan bahan fosil pada industri dan pembangkit listrik skala besar. Teknologi ini pada prinsipnya menangkap kembali karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yang terlepas dari berbagai aktivitas penggunaan bahan bakar fosil untuk kemudian disimpan kembali ke dalam perut bumi pa da sumur-sumur migas yang sudah kering.

Meskipun memakan biaya yang sangat besar, biaya dari CCS dapat diturunkan apabila sudah diimplementasikan pajak karbon. Di negara-negara maju seperti Norwegia, teknologi CCS sudah termasuk lazim di implementasikan sehingga biaya implementasi dapat ditekan drastis. Untuk mengantisipasi jika teknologi ini dijadikan semacam kewajiban untuk diimplementasikan di seluruh dunia oleh negara-negara maju, pembelajaran tentang implementasi CCS penting untuk dilakukan saat ini.

Pengaplikasian CCS di Indonesia masih belum berjalan, namun potensi penerapan untuk CCS di Indonesia sudah mulai direncanakan. Terlihat dari dua lokasi yaitu di Lapangan Gundih dan Lapangan Sukowati, dan juga direncanakan pada daerah Cekungan Natuna yang berpotensi diterapkannya CCS jika dilihat dari produksi gas pada daerah tersebut.

Manfaat CCS untuk produksi energi berkelanjutan diantaranya membantu meningkatkan akses energi dengan harga terjangkau, handal, berkelanjutan, dan modern bagi semua masyarakat. memastikan bahwa kesejahteraan dirasakan semua lapisan masyarakat, dapat menciptakan lapangan pekerjaan, memperpanjang umur infrastruktur yang ada, berkurangnya biaya operasional penyediaan listrik, dan memberikan pengetahuan untuk mendukung pertumbuhan ekonomi berbasis inovasi. Keberhasilan CCS merupakan langkah awal dalam mengurangi emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia (ESDM, 2021). Upaya pemerintah dalam mengeksplorasi dan menyebarkan CCS, adalah harus memprediksi konsumsi bahan bakar fosil, jumlah emisi CO<sub>2</sub>, dan pertumbuhan penduduk Indonesia di masa depan. CCS dapat berkontribusi pada keamanan energi yang lebih luas dengan tujuan lingkungan, sosial, dan ekonomi (Asian Development Bank, 2019):

- 1) Memungkinkan keragaman energi yang lebih besar, termasuk penggunaan bahan bakar fosil yang berkelanjutan dan lebih bersih.
- 2) Mempertahankan kesempatan kerja dan investasi jangka panjang di industri padat energi.
- 3) Melindungi nilai investasi substansial dalam energi dan infrastruktur industri lainnya yang telah dibuat.
- 4) Memperluas pilihan teknologi untuk pembangkit listrik dan
- 5) Memungkinkan investasi dalam sumber dan energi alternatif.

## 6. Kesimpulan

CCS merupakan cara dalam mencegah CO<sub>2</sub> dalam jumlah banyak yang terlepas ke dalam atmosfer yang dihasilkan dari berbagai industri terutama industri migas. Penangkapan CO<sub>2</sub> di atmosfer, mengkompresinya untuk transportasi dan kemudian dimasukkan ke dalam formasi batuan yang sangat dalam dan juga dapat digunakan untuk meningkatkan produksi migas dan mengurangi polusi di Indonesia. Penelitian dan pengembangan CCS di Indonesia harus dikembangkan dengan baik agar dalam kerangka kerja penerapan CCS dapat lebih efisien untuk mendukung adanya produksi energi berkelanjutan dalam negeri. Tantangan dalam pengembangan CCS di Indonesia adalah regulasi pemerintah yang kurang jelas, biaya yang diperlukan dalam pengembangan, infrastruktur dan lingkungan sekitar yang akan dijadikan tempat penyimpanan CO<sub>2</sub>.

Kesempatan untuk mengembangkan CCS di Indonesia cukup besar jika dilihat dari lokasi penyimpanan pada sumur tua yang sudah lama ditinggalkan. Namun, diperlukan sosialisasi mengenai keselamatan dan keamanan operasi CCS terhadap masyarakat Indonesia. Manfaat CCS dalam produksi energi berkelanjutan diantaranya membantu meningkatkan akses energi dengan harga terjangkau, handal, berkelanjutan, dan modern bagi semua masyarakat. memastikan bahwa kesejahteraan dirasakan semua lapisan masyarakat, dapat menciptakan lapangan pekerjaan, memperpanjang umur infrastruktur yang ada, berkurangnya biaya operasional penyediaan listrik, dan memberikan pengetahuan untuk mendukung pertumbuhan ekonomi berbasis inovasi.

### Daftar Pustaka

- Adisaputro, D., Saputra, B. (2017). Carbon Capture and Storage and Carbon Capture and Utilization: What Do They Offer to Indonesia, *Front. Energy Research* 5:6. [www.frontiersin.org](http://www.frontiersin.org)
- Asian Development Bank. (2019). Carbon Dioxide - EOR in Indonesia: An Assessment of its Role in a Carbon Capture and Storage Pathway (Issue December). <https://www.adb.org>
- Bustomi, T., Kuntoro, P. (2017). Teknologi Carbon Capture and Storage (CCS) System dengan Menggunakan Metode Perancangan Pinch, Institut Teknologi Sepuluh November
- Best, D., Mulyana, R., Jacobs, B., Iskandar, U. P., & Beck, B. (2011). Status of CCS development in Indonesia. *Energy Procedia*, 4(2011), 6152–6156. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.02.624>
- Commission, E. (n.d.). Carbon Capture, Use and Storage. SETIS. [http://setis.ec.europa.eu/system/files/CCS EII 2013-2015 IP.pdf](http://setis.ec.europa.eu/system/files/CCS_EII_2013-2015_IP.pdf)
- Kementerian ESDM. (2021). Carbon Capture , Utilization and Storage ( CCUS ) Sebagai Solusi Pengurangan Emisi. 3–5.<https://www.esdm.go.id>
- Kementerian ESDM. (2014). Buku Pegangan Statistik Energi dan Ekonomi Indonesia. Indonesia: Pusdatin ESDM.
- Global CCS Institute. 2011. Accelerating The Uptake Of CCS: Industrial Use Of Captured Carbon Dioxide. Parsons Brinckerhoff.
- IEA Energy Atlas. (2016). IEA Energy Atlas Statistics. Available at: <http://www.iea.org/statistics/ieaenergyatlas/>
- IEA. 2013. Technology Roadmap: Carbon Capture Storage. Paris: International Energy Agency.
- IPCC. 2005. The IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage. Montreal: Intergovernmental Panel On Climate Change
- LEMIGAS. 2009. Understanding Carbon Capture and Storage Potential In Indonesia. Indonesia: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Muhd Nor, N. H., Selamat, S. N., Abd Rashid, M. H., Ahmad, M. F., Jamian, S., Kiong, S. C., Hassan, M. F., Mohamad, F., & Yokoyama, S. (2016). Carbon Sequestration and Carbon Capture and Storage (CCS) in Southeast Asia. *Journal of Physics: Conference Series*, 725(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/725/1/012010>
- UCL Energy Institute. (2013). Modelling of Global Energy Scenarios under CO<sub>2</sub> Emissions Pathways with TIAM-UCL. London: UCL Energy Institute.
- Zaemi, F., Rohmana,R. (2021). Carbon Capture Utilization and Storage untuk Pembangunan Berkelanjutan: Potensi dan Tantangan di Industri Migas Indonesia, Teknik Perminyakan, Universitas Tanri Abeng